

*Т.Г. ЖИВОЛУП*, канд. физ.-мат. наук, Институт ионосферы (г. Харьков)

## **РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НИЖНЕЙ ЧАСТИ ОБЛАСТИ F ИОНОСФЕРЫ С ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДЕЛЬЮ А.Д. ДАНИЛОВА**

Розглянуто порівняння розробленої теоретичної моделі нижньої частини області F іоносфери з емпіричною моделлю А.Д. Данилова. Результати порівняння експериментальних та теоретичних висотних профілів  $[O^+]/n_e$  свідчать про гарні точнісні характеристики розробленої теоретичної моделі.

Comparison of the elaborated theoretical model of the ionosphere F-region lower part with the A.D. Danilov empirical model is considered. Comparison results of the experimental and theoretical  $[O^+]/n_e$  height profiles give evidence about good accuracy characteristics of the elaborated theoretical model.

**Введение.** Для решения прикладных задач радиолокации, радионавигации и распространения радиоволн требуются надежные теоретические модели нижней части области F ионосферы, обладающие хорошими точностными характеристиками. Поэтому сравнение разработанной теоретической модели нижней части области F ионосферы с надежными экспериментальными данными позволяет определить ее точностные характеристики.

**Постановка задачи.** Для проверки точностных характеристик разработанной теоретической модели нижней части области F ионосферы была взята эмпирическая модель относительного ионного содержания А.Д. Данилова, построенная по данным ракетных измерений и входящая в модель IRI-2001. Были выбраны конкретные дни 2001 года, относящиеся к весеннему и осеннему равноденствиям, а также к летнему и зимнему солнцестояниям: 22 марта (индекс солнечной активности  $F_{10,7} = 145$ ), 22 сентября ( $F_{10,7} = 132$ ), 22 июня ( $F_{10,7} = 135$ ) и 22 декабря ( $F_{10,7} = 127$ ). Сравнение было проведено для относительного содержания иона атомарного кислорода  $O^+$  в интервале высот 100–300 км.

Разработанная теоретическая модель нижней части области F ионосферы использует данные модели MSIS-86 для концентраций нейтральных частиц на высоте 100 км для конкретного дня и уровня солнечной активности, а также значение экзосферной температуры. Эти данные используются как входные для вычисления высотного распределения нейтральных частиц согласно соотношениям модели нейтральной атмосферы Яккия-71 [1]. Разрабо-

танная теоретическая модель также использует девятиинтервальный спектр коротковолнового солнечного излучения [2], зависимость интенсивности коротковолнового излучения Солнца от значения индекса  $F_{10.7}$  [3], а также основные ионно-обменные реакции и реакции диссоциативной рекомбинации и значения их скоростей, приведенные в [4].

Разработанная теоретическая модель нижней части области F ионосферы учитывает ионизацию нейтральной атмосферы солнечным излучением, шесть ионно-обменных реакций и три реакции диссоциативной рекомбинации и определяет концентрацию электронов  $n_e$  и ионных составляющих  $[NO^+]$ ,  $[O_2^+]$ ,  $[O^+]$  и  $[N_2^+]$ .

Концентрация атомарного кислорода  $[O^+]$  определяется путем решения уравнения непрерывности. Из системы уравнений баланса ионизации вычисляются концентрации молекулярных ионов  $[NO^+]$ ,  $[O_2^+]$ ,  $[N_2^+]$  и электронная концентрация  $n_e$ .

Разработанная теоретическая модель нижней части области F ионосферы позволяет рассчитать как абсолютную, так и относительную концентрацию молекулярных ионов и иона  $[O^+]$ .

**Цель работы** – проверка точностных характеристик разработанной теоретической модели нижней части области F ионосферы.

**Результаты исследований.** Расчетные высотные профили относительного содержания иона  $O^+$  были сопоставлены с эмпирическими высотными профилями  $[O^+]/n_e$  эмпирической модели А.Д. Данилова. Следует отметить, что данные состава нейтральной атмосферы на высоте 100 км для летнего солнцестояния (22 июня) были взяты непосредственно из модели MSIS-86, а для весеннего и осеннего равноденствий и зимнего солнцестояния были взяты данные, полученные путем модификации нейтральных составляющих для летнего солнцестояния. Исходные данные для летнего солнцестояния были модифицированы следующим образом:

- для 22 марта содержание нейтрального кислорода  $[O]$  было увеличено в 4 раза, а содержание молекулярного кислорода  $[O_2]$  было уменьшено в 2 раза;
- для 22 сентября содержание атомарного кислорода было увеличено в 4 раза, а содержание молекулярного кислорода было уменьшено в  $\sqrt{3}$  раз;
- для 22 декабря содержание атомарного кислорода было увеличено в 2 раза, содержание молекулярного кислорода было уменьшено в 3 раза, а содержание молекулярного азота  $[N_2]$  было увеличено в 1,5 раза.

На рис. 1 2 показано сравнение расчетных высотных профилей  $([O^+]/n_e)(h)$  с профилями, взятыми из эмпирической модели А.Д. Данилова

Как видно из рис. 1 для 22 марта, расчетный и экспериментальный профили расходятся на 1-3% в интервале высот 100-200 км и на 1-5% – в интервале высот 200-300 км.

Для 22 июня (рис. 1) наблюдается расхождение расчетного и экспериментального профилей  $([O^+]/n_e)(h)$  на 1-3% в интервале высот 100-200 км и на 1-7% – в интервале высот 200-300 км.

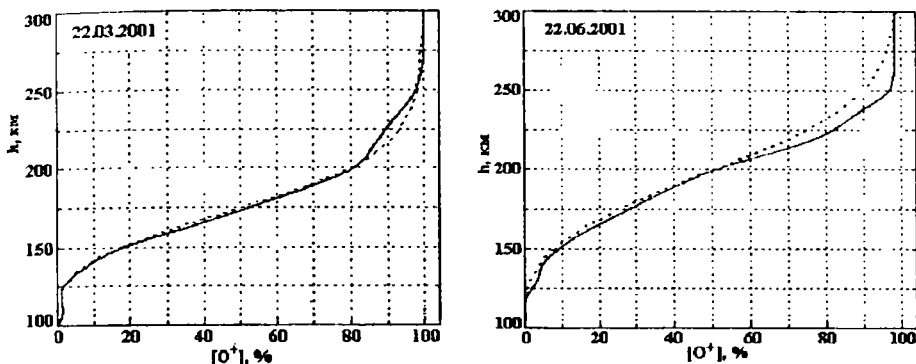


Рис. 1. Сравнение высотных профилей  $([O^+]/n_e)(h)$ , рассчитанных по разработанной теоретической модели (пунктир) и взятых из эмпирической модели А.Д. Данилова (сплошные линии), для весеннего равноденствия и летнего солнцестояния

Для 22 сентября (рис. 2) наблюдается расхождение расчетного и экспериментального профилей  $([O^+]/n_e)(h)$  на 1-3% в интервале высот 100-225 км и на 1-6% – в интервале высот 225-300 км.

Для 22 декабря (рис. 2) расхождение расчетного и экспериментального профилей  $([O^+]/n_e)(h)$  составляет 1-3% на высотах 100-170 км и заметно возрастает на высотах 175-225 км до величины 5-10%. Выше высоты 225 км расхождение профилей составляет 1-3%.

Таким образом, сравнение экспериментальных высотных профилей относительного содержания иона  $O^+$ , взятых из эмпирической модели А.Д. Данилова, с теоретическими показало их хорошее соответствие для 22 марта, 22 июня и 22 сентября в области высот 100-200 км. В интервале высот 200-300 км расхождение экспериментальных и теоретических профилей для этих дней не превышает 5-7%.

Для 22 декабря наблюдается расхождение экспериментальных и теоретических профилей на высотах 175-225 км до величины 5-10%.

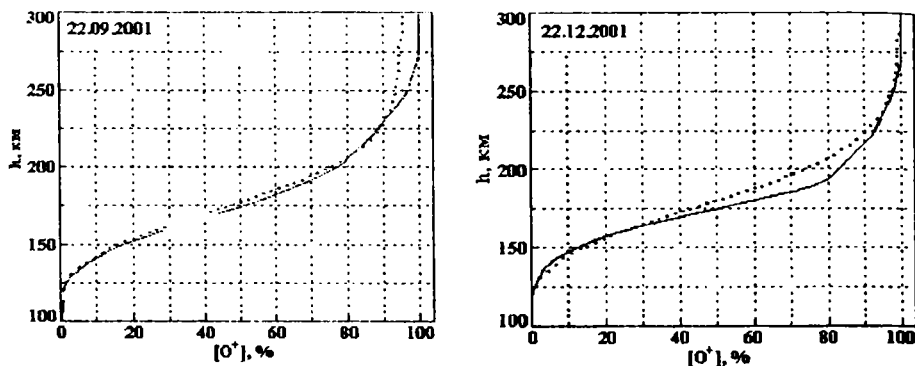


Рис. 2. Сравнение высотных профилей  $([O^+]/n_e)(h)$ , рассчитанных по разработанной теоретической модели (пунктир) и взятых из эмпирической модели А. Д. Данилова (сплошные линии), для осеннего равноденствия и зимнего солнцестояния

**Выводы.** Результаты сравнения экспериментальных и теоретических высотных профилей  $O^+/n_e$  свидетельствуют о хороших точностных характеристиках разработанной теоретической модели нижней части области F ионосферы.

**Список литературы:** 1. *Jacchia L.G.* Revised static models of the thermosphere and exosphere with empirical temperature profiles // Spec. Rep. N 332. Smithsonian Astrophys. Observ., Cambridge, Mass. 1971. 2. *Stubbe P.* The thermosphere and the F-region: a reconciliation of theory with observations. Ionospheric Research Sci. Rep. N 418. Penn. State University. 1973. 156 p. 3. *Иванов-Холодный Г.С., Фирсов В.В.* Спектр коротковолнового излучения Солнца при различных уровнях активности // Геомагн. и аэрономия. 1974, Т. 14, №3. С. 393 - 398. 4. *Антонова Л.А., Иванов-Холодный Г.С.* Солнечная активность и ионосфера (на высотах 100-200 км) // М.: Наука, 1989. 168 с.

Поступила в редакцию 21.04.04